Oponentní posudek

Autor: Ing. Zdeněk Reif

Název: **Inovativní těsnicí komponenty vysokotlakého vstřikovače typu COMMON RAIL**

Školitel: doc. Ing. Ladislav Němec. CSc.

Oponent: doc. Ing. Jaromír Horák, CSc.

- **Zhodnocení významu pro obor**

Disertační práce zpracovává aktuální téma. Problematika zmenšování dopadu provozu dopravních prostředků je celosvětově řešena a jsou podporovány náměty VaV v této oblasti. Konkrétní zaměření předkládané práce je v řešení těsnicího konceptu při zvýšeném vstřikovacím tlaku, což vede ke snížení emisí tuhých částic. Práce je aplikována na vznětové motory lodí, protože i v říční i v námořní dopravě se budou požadavky na čistotu výfukových plynů nadále zpřísňovat.

- **Vyjádření k postupu řešeného problému, použitým metodám a splnění stanoveného cíle**

V úvodu disertační práce jsou popsány dosud známé poznatky z oboru vstřikovacích systémů. V dalších kapitolách je provedena analýza a hledání obecného řešení se zaměřením na únavu materiálu a lomovou mechaniku, volbu materiálu a jeho zpracování, způsob měření zkušebních vzorků, popis navrženého a realizovaného zkušebního zařízení. Hlavní přínos práce je obsažen v kapitole 4 – návrhu inovativních těsnicích konceptů, variantního řešení s výběrem a detailním zpracováním optimální varianty. Podle názoru oponenta byly stanovené cíle splněny.

- **Stanovisko k výsledkům, disertační práce a původního konkrétního přínosu disertanta**

Konkrétní přínos práce je obsažen v kapitolách 4 a 5. Jedná se o simulace chování těsnicích elementů metodou FEM. Podrobně jsou ukázány výsledky měření na vzorcích s těsnicími drážkami s variantním zadáním přítlačné síly a tlaku (tab. 5.2). Dále je analyzováno těsnění slepými dírami. Výsledek tohoto konceptu doporučuje autor pouze jako sekundární těsnění

doplňující jiný, primární těsnicí koncept. Další koncept se týká optimalizovaných těsnicích vložek vsunutých dovnitř kanálu, které jsou tlakem média přitlačovány ke kanálové stěně. Tato varianta byla podrobně zkoumána teoreticky. Je uvedena varianta s dvojitými vložkami (použití bronzového pláště k vyhlazení kontaktního tlaku) viz obr. 5.35 a 5.36. Poslední zkoumanou variantou je koncept s integrovaným těsnicím límcem. Výsledky jsou shrnuty v grafech na obr. 5.60. V závěru práce jsou posouzeny všechny analyzované varianty. Pro další výzkum v této oblasti autor doporučuje koncept těsnicích drážek a koncept s těsnicími vložkami. V přílohách práce v rozsahu 38 stran jsou uvedeny výsledky měření. Disertant prokázal znalost moderních prostředků pro teoretický i experimentální výzkum problematiky těsnění injektoru Common Rail pro využití ve středněotáčkových námořních nebo stacionárních motorech.

- **Vyjádření k systematičnosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce**

Předložená práce má celkem 177 stran, z toho 38 stran experimentálních výsledků. Je zpracována systematicky, přehledně. Je psána v německém jazyce, proto se nevyjadřuji k jazykové úrovni. Celkově je práce rozhodně na vysoké úrovni prací ve studijním programu Stavba strojů a zařízení na FST – KKS.

- **Vyjádření k publikacím disertanta**

Autor uvádí celkem 7 publikací, které se týkají disertační práce, a to jak v ČR, tak v zahraničí. V celkovém přehledu literatury, která se týká tématu disertační práce je uvedeno 69 odkazů.

- **Závěrečné vyjádření**

Z důvodů uvedených v odborné části posudku doporučuji disertační práci k obhajobě dle zákona č.111/1998 Sb., § 47.

V Plzni dne 26.3.2013

doc. Ing. Jaromír Horák, CSc.

Ing. Kateřina Kidorová, Ph.D.
Continental Automotive GmbH
P ES SYS A GER1 CMT
Siemensstr. 12
93055 Regensburg (Deutschland)

OPONENTSKÝ POSUDEK

Na doktorskou disertační práci:

Ing. Zdeněk Reif: „Innovative Dichtkonzepte eines Common Rail Hochdruckinjektors."

Předkládaná disertační práce je psána v německém jazyce, obsahuje 125 textových stran včetně anotace psané v českém, anglickém a německém jazyce, 107 obrázků, 8 tabulek a přílohu v rozsahu 36 stran s grafy průběhu závislostí některých veličin a výsledky dílčích měření (tabulkově a formou grafů). Práce je členěna do 7 kapitol, z nichž poslední je výčtem publikací autora.

Autor řeší téma navržení a ověření inovativních těsnících konceptů v sestavě vstřikovače Common Rail systému použitém ve středně otáčkových lodních motorech s cílem uspokojit nároky na zvýšení tlaku a zvýšení životnosti s ohledem na náklady.

Úvodní kapitola je věnována motivaci pro potřebu hledání nových konstrukčních řešení a nutnosti inovací v lodním průmyslu jak z hlediska legislativních a normativních, tak z hledisek ekonomických. Uvedení do problematiky vstřikovacích systémů zaměřené na Common Rail systém je zde částečně vysvětleno na principech použitých u osobních a nákladních automobilů. Jak však autor správně uvádí, neexistuje zde přímá přenositelnost na lodní motory z důvodů jejich velikosti, rozdílného paliva i požadavků na ně kladených. Avšak je zde potenciál pro nalezení zdrojů možné inspirace jako základ pro nová inovativní řešení. Významnou část úvodní kapitoly pak tvoří příklady současných konceptů řešení sestavy vstřikovačů lodních motorů a opatření pro požadavky na emisní normy.

V následující kapitole je pak přehledné definování samotných cílů výzkumu. S podporou metodiky Engineering Design Science jsou stanoveny jednotlivé požadavky na řešení, vnější i vnitřní faktory ovlivňující skupinu komponent vtřikovače reprezentující technický systém, činitele v procesu hledání optimální varianty. Na základě přehledného výčtu požadavků navrhl disertant 4 rozdílné inovativní koncepty, které pak bodově ohodnotil z pohledu kvality, časových a nákladových nároků a srovnal se současným řešením a s variantou ideální. Díky tomuto přístupu mohl autor již v počáteční fázi výzkumu obdržet významnou informaci, které varianty se jeví jako nejvhodnější a tudíž mohou být priorizovány pro zhotovení experimentálního zařízení na jejich praktické ověření.

Ve třetí kapitole je provedena velmi detailní analýza sestavy vstřikovače z pohledu pracovních podmínek, namáhaní materiálu a volba vhodného materiálu komponent. Byla provedena velmi důkladná rešerše oboru s podporou poznatků publikovaných v dostupné literatuře s cílem hledání obecného řešení. Byl zde řešen průběh tlaku a jeho vliv na komponenty, dále pak vlastnosti mazutu a vliv teploty. Významná část byla věnována únavě materiálu – především vlivy na únavovou pevnost.

Dále byly analyzovány druhy a vlivy napětí působící na komponenty, lomová mechanika a účinky vrubu. Poslední část této kapitoly tvořilo hledání volby vhodného materiálu. Zde se autor zaměřil na ocel a její vlastnosti, slinované materiály, kompozitní materiály, některé v úvahu přicházející výrobní procesy (jako například autofretáž) a tepelné úpravy materiálů.

Na cestě hledání nových rešení se autor rozhodl nejen pro ověření navržených variant pomocí výpočtové metody konečných prvků (MKP), ale vybrané varianty rovněž ověřit na vlastním navrženém experimentálním zařízení. Nejprve se zaměřil na konstrukci zkušebních vzorků tak, aby mohly zjednodušeně, avšak dostatečně, reprezentovat reálné provedení ve vsřikovači. Celkem byly navrženy 4 různé koncepty těsnění: pomocí těsnících drážek (varianta označena jako 5A, 5B a jejich zjednodušení var. 55A, 55B), koncept se slepými dírami v kontaktní ploše (6A, 6B), koncept s integrovaným těsnícím límcem (Goe 3) a koncept s těsnicími vložkami (E2). Poslední dva jmenované koncepty byly pouze počítačově modelovány a ověřeny tedy jen výpočtově. Měření bylo provedeno na zkušebním stojanu vlastní konstrukce. Zkoušky byly provedeny pomocí statického hydraulického tlaku, který byl v krocích postupně zvyšován v kombinaci s přítlačnou silou. Netěsnost byla při dané kombinaci přítlačné síly a tlaku odvozena na základě sledování hmotnosti uniklé kapaliny v časových intervalech, což bylo využito k získání vývoje velikosti netěsností v závislosti na čase.

Sekce nazvaná „Nové těsnící koncepty", tvořící polovinu textového rozsahu, byla věnována podrobnému zkoumání nejprve současného konceptu, posléze navržených nových konceptů. Nejprve bylo identifikováno kritické místo v sestavě a možný potenciál k optimalizaci. Tím vznikla sub-varianta původního základního konceptu, která byla opět podrobně zkoumána a dle tendence zlepšení/zhoršení těsnících vlastností byl tento postup opakován, dokud nebylo dosaženo uspokojivých výsledků. Vše je přehledně vyhodnocováno a dokumentováno a nejdůležitější poznatky pak shrnuty v závěrečné kapitole.

Zhodnocení významu pro obor

Disertační práce byla vypracována v oboru „Stavba strojů a zařízení". Práce poskytuje ucelený přístup v hledání slabin současných konceptů a nalezení nových inovativních řešení včetně jejich ověření. Výzkum byl inicializován průmyslovou praxí, jelikož současný koncept nesplňoval požadavky na životnost a nároky na trend zvyšování hodnot tlaku v Common Rail členu. Nutnost inovací lze již pozorovat v nárůstu zakázek na projekty spojené s vývojem lodních motorů některých výzkumných a vývojových center, která jsou jinak především spezializovaná na sektor automobilového průmyslu. Lze očekávat další zpřísnění norem, ať již z důvodů ekologických, či z důvodů ekonomických zájmů v tomto odvětví. Tato disertační práce může být dobrým zdrojem informací v cestě za inovativními řešeními.

Vyjádření k postupu řeseného problému, k použitým metodám, ke splnění stanoveného cíle

Cíle práce jsou jasně definované, motivace byla velmi dobře vysvětlena. Vlastní postup řešení byl shrnut v úvodní části tohoto posudku. Ing. Reif zde dobře využil poznatků Engineer Design Science pro určení možných vhodných variant a eliminaci méně vhodných. Velmi pozitivně lze ohodnotit nastudování odborné literatury (převážně cizojazyčné) z oblasti výzkumu komponent a systémů ve zkoumaném odvětví vstřikovačů lodních motorů a pohled na řešený problém z nejrůznějších hledisek

majících vliv na vhodnost komponent pro daný účel jejich použití. Hledání vhodných konstrukčních variant bylo významně podpořeno modelováním komponent v 3D CAD softwaru (Pro/Engineer) a výpočty MKP podpořené Softwarem ANSYS, který kromě numerických výsledků poskytl také grafický průběh napětí v komponentách. Typ a hustota sítí, umístění a počet uzlů pro MKP byly zvoleny optimálně vzhledem k očekávanému zatížení. Velmi dobře pracoval disertant s výsledky z experimentálního zařízení, jejichž správné vyhodnocení bylo důležitým podnětem pro další úvahy v možnostech vylepšení. Na základě vyhodnocení nejslabších míst byla dále hledána cesta k následné konstrukční optimalizaci zkoumaného dílu. Nutno ještě uvést, že konzultace s technology o možnosti vyrobitelnosti uvažovaných konstrukčních úprav ještě před zahájením modelování a výpočtů ukazuje na velmi dobrý prvotní přístup k řešení problémů. Použité metody jsou moderní a lze konstatovat, že stanovené cíle byly dosaženy.

Stanovisko k výsledkům disertační práce a původního konkrétního přínosu disertanta

Od disertačních prací z oborů inženýrských se výsledky očekávají především v odvětví vývoje a následných aplikacích ve výrobě v průmyslové praxi. Předložená práce velmi dobře zpracovává a dokumentuje úvahy a postup při hledání optimálních řešení nových inovativních těsnících konceptů pro náročné pracovní podmínky. Původnost práce vidím v samostatně navrženém novém zkušebním zařízení, zjednodušení komplexní sestavy injektoru a přípravy testovacích vzorků. Dále pak využití výsledků numerických výpočtů MKP a experimentálních výsledků v určovaní slabých míst navržených variant a jejich další optimalizaci, což často vyžadovalo kreativitu, konstruování a ověřování nových možných řešení problému. Jako originální myšlenku považuji použití folie Prescale a vyhodnocování otlaku pomocí zabarvení.

Případné další vyjádření, např. Vyjádření k systematičnosti, přehlednosti, formální úpravě a jazykové úrovni disertační práce

Předložená práce je přehledná a logicky dobře strukturovaná. Disertant si dle mého nározu dobře poradil s problémem, jak v textu zachytit myšlenky a vývoj jednotlivých sub-variant, a přitom neztratit hlavní linii směru. Obrázky, grafika a tabulky mají vysokou úroveň, jejich rozmístění je však často nevhodně zvolené, protože čtenář je nucen listovat v textu až několik stránek (pravděpodobně nedostatek textového editoru LATEX). Velmi vysoká je úroveň německy psaného textu jak po stránce srozumitelnosti, tak po stránce gramatické a stylistické a troufám si tvrdit, že na úrovní rodilých mluvčích. V textu nebylo snadné najít překlepy (uvádím jediné dva: str. 78 marko -> správně makro, str. 94: Äufweitens“ -> „Aufweitens“), velmi zřídka se vyskytla chyba ve členu (str. 36, 60, 103, 105), a vyjímečně i drobné chyby v ustálených spojeních (str. 60: sinvoller weise -> sinvollerweise, str. 109: nachwievor -> nach wie vor), kde si po mém zjištění převážná většina rodilých mluvčích také není zcela jista. Na celkový rozsah textu jsou tyto nedostatky zanedbatelné a nesnižují kvalitu a srozumitelnost práce. Velmi kladně hodnotím záměrné vynechání problematiky konstrukce a vlivu trysky v úvodní části práce, která by zbytečně narušila tok tématu a pro daný účel nebyla významná.

Vyjádření k publikacím disertanta

Samostantou kapitolu tvoří seznam 7 publikací, z nichž 6 je spojeno přímo s tématem disertační práce bez podpory dalších spoluautorů. Tyto práce byly publikovány a prezentovány na mezinárodních konferencích či na přehlídkách studenstké odborné činnosti, což prokazuje publikační schopnost disertanta a sdílení výsledků výzkumu s odbornou veřejností. Kladně lze hodnotit přínos ing. Reifa jako spoluautora při tvorbě výukových podkladků pro studenty strojní fakulty.

K práci mám následující dotazy či poznámky:

a. V teoretické části byl jako jeden z důležitých faktorů zmíněn vliv teploty na namáhání komponent, ale i její vliv na viskozitu pracovního media. Experimenty však byly provedeny při okolní teplotě. Prosím o odůvodnění, proč nebyl vliv teploty blíže zkoumán.
b. Prosím o bližší vysvětlení křivek A,B na obrázku 4.14 týkajících se výsledků z Prescale folie.
c. Autor čerpal z informace z úctyhodných 69 zdrojů tištěných publikací, avšak neuvedl žádný internetový zdroj informací. Jaký vztah má k internetu, jako modernímu zdroji informací?
d. V závěru bych doporučila provést ohlédnutí se k původním stanoveným cílům a zhodnocení výsledků směrem k původním očekáváním - tzv. Ausblick (např. srovnání s obr. 2.6 – hodnocení variant z pohledu Design Science). Dále pak nastínění možností dalšího/navazujícího vývoje, možnosti využití výsledků výzkumu.
e. Graf prognózy pro roky 2010 - 2014 na obr. 1.6 byl čerpán z literatury publikované v roce 2007. Doporučila bych uvést novější data případně srovnání s aktuálními daty.
f. Grafy uvádějící výsledky měření mají automatické měřítko osy y, což je velmi vhodné pro pozorování detailů vývoje křivek. Pro srovnání variant je vhodnější použití stejného měřítka (např. obr. 5.21 a 5.22).
g. Práce je psaná v německém jazyce. Použití anglického slova „Glossary" pro seznam použitých zkratek a symbolů by bylo vhodné nahradit německým „Glossar" nebo časteji používaným „Abkürzungen und Nomenklatur". Dále pak kombinování latinského „etc." s německým „usw." stejného významu v různých částech textu by mělo být ujednoceno. Tyto drobné nedostatky rozhodně nesnižují velmi vysokou úroveň německy psaného textu.

Závěr

Závěrem lze konstatovat, že Ing. Zdeněk Reif jednoznačně prokázal schopnost tvůrčí samostatné vědecké práce včetně vynikající cizojazyčné vybavenosti, a proto práci dle §47, odst. 4, Zákona č. 111/1998 Sb. a prováděcích předpisů **doporučuji** k obhajobě.

Kdh

.....

Ing. Kateřina Kidorová, Ph.D.

Regensburg 04.04.2013